昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，June 2007，50（6）：588 – 596　　ISSN 0454-6296

桔小实蝇自然种群蛹和越冬成虫的耐寒性

任　璐，陆永跃，曾　玲[*]

（华南农业大学昆虫生态研究室，广州　510642）

摘要：本文通过过冷却点和低温耐寒能力的测定，研究了我国桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis*（Hendel）不同季节种群和地理种群蛹的耐寒性规律。结果表明：桔小实蝇自然种群蛹的低温存活力有明显的季节规律，冬前种群的耐寒性显著强于夏季种群。如在 0℃低温下暴露 2 天，夏季种群基本全部死亡，而冬前种群存活率仍为 61.4%。2005 – 2006 年不同月份桔小实蝇 1 日龄蛹过冷却点差异明显，以 2 月份均值最高，为 – 9.26℃，8 月份最低，为 – 15.20℃；且 2 月份桔小实蝇蛹个体过冷却点值出现明显的分化现象，分别在 – 15℃左右和 – 6℃左右出现两个明显的聚集区。所研究的 5 个桔小实蝇地理区域种群没有出现明显的耐寒性分化。结合本文结果，文中还就桔小实蝇自然种群耐寒性影响因素进行了讨论。

关键词：桔小实蝇；自然种群；耐寒性；蛹；越冬成虫

中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296（2007）06-0588-09

Cold hardiness of pupae and over-wintering adults from natural populations of *Bactrocera dorsalis*（Hendel）（Diptera：Tephritidae）in China

REN Lu，LU Yong-Yue，ZENG Ling[*]（1. Laboratory of Insect Ecology，South China Agriculture University，Guangzhou 510642，China）

Abstract：In this study，cold hardiness of pupae and over-wintering adults among seasonal populations and geographic populations of *Bactrocera dorsalis*（Hendel）in China were assayed by measuring their supercooling capacity and cold survival ability. The results showed that cold tolerance of the pupa followed strong seasonal rhythm：the pre-winter population had higher tolerance to low temperature than the summer population；and the summer population completely collapsed as exposed to 0℃ for 2 days，but there was still 61.4% survivorship for the pre-winter population. The SCPs of one day-old pupae had significantly difference among the different months，highest in February（– 9.26℃）while lowest in August（– 15.20℃）. Further analysis showed that there was a big variation range of SCPs among individuals，which were gathered around two points：– 15℃ and – 6℃. There was no significant difference in cold hardiness among five geographic populations of *B. dorsalis*. The main factors that influence cold hardiness of natural populations of *B. dorsalis* were discussed combined with the results obtained this study.

Key words：*Bactrocera dorsalis*；natural population；cold hardiness；pupa；over-wintering adult

昆虫是变温动物，遍布地球的各个角落，在其生命过程中，经历着复杂的生态环境变化，它们的生理功能、基本行为甚至进化途径无不受温度的控制和影响（Lee and Denlinger，1991）。自然界中昆虫的世代普遍要经历不同栖境和不同季节温度的变化，包括夏季高温和冬季低温的胁迫。基于对高温胁迫和低温胁迫的反应，昆虫常表现出增强的耐热性和耐寒性，进而形成适应性特征的种群间变异、季节变异和地理变异等（陈兵和康乐，2005）。因而昆虫在环境温度胁迫下的生存适应策略所导致的耐受性分化将直接提供生物自然选择下的进化方向，并可预测种群的起源、分布和动态规律。

昆虫基于对温度胁迫（结合其他气候的因子）的适应出现地理种群的分化和种群的季节分化。一般来说，高纬度区域的种群应具备更强的低温耐受力，高纬度地区的冬季低温是限制昆虫向北扩散的关键

基金项目：广东省科技计划项目（2002B2160203，2004A20401002）

作者简介：任璐，女，1977 年生，博士，从事昆虫生理生态学方面的研究，E-mail：lufeier007@163.com

[*] 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：zengling@scau.edu.cn

收稿日期 Received：2006-10-25；接受日期 Accepted：2007-05-24

因素。Jing 和 Kang（2003）研究了东亚飞蝗 *Locusta migratoria* 从热带到温带地理种群的耐寒性，通过比较它们的致死中时间（t_{50}）和致死中温度（T_{50}）发现北方种群显著比南方种群耐寒，这种分化是种群在长期的自然选择下形成的，与对地理环境的适应甚至遗传分化有关。南美斑潜蝇向北扩散的过程中同时伴随着过冷却点降低的适应机制（陈兵和康乐，2003）。同样 Turnock 等（1998），Shintani 和 Ishikawa（1999）及 Tanaka（1999）都报道了昆虫耐寒性地理种群的明显分化。季节性温度变化和光周期变化是影响昆虫种群特征的重要生态因子，在周而复始的季节规律变化中昆虫形成了相应的生存适应机制。桑尺蠖 *Phthonandria atrilineata* Butler 越冬幼虫的过冷却点冬前开始下降，至早春温度回升时又开始上升，与耐寒相关的生理物质也随之变化（孙绪艮等，2000）；飞蝗 *Locusta migratoria* 秋季种群卵的过冷却点降至 －26℃，且其低温耐受力也强于夏季种群和越冬后种群（景晓红，2003）；Chen 和 Kang（2004）同样发现南美斑潜蝇的耐寒性具备明显的季节分化。说明昆虫在长期的进化过程中已形成对冬季低温的生态适应性，无论从行为还是生理上都为其安全度过低温阶段做好储备。

桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis*（Hendel），又名东方实蝇（Oriental fruit fly），是亚太地区果树种植业上的一种毁灭性检疫性害虫。早在上世纪 30 年代我国就有桔小实蝇的记录（梁广勤等，1993），上世纪 90 年代中期以后该虫在我国华南和西南地区迅速上升扩展蔓延，成为当地果蔬种植业的主要害虫，造成严重的经济损失（张伟等，1996；白巧和宋福猛，1997）。90 年代以前桔小实蝇种群密度一直很低，1989－1991 年连续 3 年对广州地区桔小实蝇、瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* 和南瓜实蝇 *B. tau* 的种群进行调查，自然种群密度由高到低依次为：瓜实蝇，南瓜实蝇和桔小实蝇（周昌清等，1995）。但由于密度很低在当时几乎没有其生物学和害虫防治的报道（Yang *et al.*，1994）。近十年来在中国的华南和西南地区频频报道该虫的种群增长和危害。由于对其没有完善的防治措施，很多地区果实减产，甚至失收。在云南一些地区或个别年份，水果的受害率可达 90% 以上，成为阻碍当地水果种植业规模化发展的不利因素（李红旭等，2000；杨永生，2003）。到目前为止报道的桔小实蝇危害区已有：海南、两广、福建、云南、四川的攀西地区和贵州部分地区等（梁广勤，1993；刘元明，2000；梁光红等，2003），在浙江、上海和江苏等地也发现该类害虫已成功地在当地建立种群并造成危害。可见桔小实蝇种群在我国处于不断扩展的过程中，能否稳定建立和进一步扩大种群取决于其对环境中各种生物和非生物因子的适应能力及潜力。如上所述，温度是环境因子中影响昆虫生态特征和限制昆虫扩散的关键因素，研究该类毁灭性检疫害虫自然种群的耐寒性分化对预测其扩散机会和综合治理该类害虫有十分重要的意义。另外国内也有很多学者根据各项环境因子利用模型来推测桔小实蝇在我国的适生区域和种群动态（范京安，1998；候伯华和张润志，2005；刘建宏和叶辉，2005），但缺乏自然种群适生能力的研究。鉴于此，本文选取了广州地区桔小实蝇夏季和冬前种群，通过测定不同季节下桔小实蝇蛹的过冷却点和低温耐受力，并分析其成虫在广州地区越冬的能力，研究了桔小实蝇自然种群耐寒性的季节分化；另外，选取不同地理自然种群，对其耐寒性差异进行了比较。

1　材料与方法

1.1　过冷却点（supercooling point，SCP）的测定

采用热电偶方法测定过冷却点，所用仪器为过冷却点仪（江苏森意经济发展有限公司制造）。测定时将待测虫体放入大小适当的一次性移液器枪头中，将热敏探头伸入与虫体接触，并用隔热材料如棉花包好后放入低温冰箱（－20℃～－30℃）中进行测定。虫体降温速率在 1℃/min 左右。当虫体内体液结冰时，由于潜热释放使记录仪所记录的曲线上有一个较大的回折，根据回折点读出过冷却点值。一个处理完成后用冰水混合物校正热敏探头。

1.2　不同季节桔小实蝇自然种群蛹的耐寒能力研究

从广州杨桃公园采集被桔小实蝇危害的落果放入采虫罐后置于网室中，待其羽化后用香蕉、杨桃和番石榴等鲜果繁殖。在网室上置一防雨水冲刷罩，网室内温度、湿度等环境条件与自然条件相同。每天记录网室温湿度变化。2005 年 3 月至 2006 年 2 月逐月测定网室中饲养所得桔小实蝇 1 日龄蛹的过冷却点值（SCP），同时在全年的最低月份（2005.12、2006.1 和 2006.2）收集桔小实蝇成虫进行过冷却值（SCP）的测定，并分别在 4－5 月、7－8 月和 11－12 月对桔小实蝇自然种群蛹进行耐寒性实验。

耐寒性实验中低温梯度和处理时间如下：（1）－5℃：1 h、2 h、4 h 和 8 h；（2）0℃：0.5 天、1 天、1.5

天、2 天、2.5 天和 3 天；(3) 5℃和 10℃：12 h、1 天、2 天、4 天和 8 天；(4)在 10℃下预处理 12 h、1 天、2 天、4 天，然后放置在 0℃下处理 1 天，对照是 1 日龄蛹不经预处理直接在 0℃下处理 1 天。所有处理完成后将蛹覆盖 2 cm 左右相对含水量 30%～40%的沙土后置于恒温光照培养箱（26℃ ± 0.5℃；RH 60%～80%）中待其羽化，观察记录存活情况。每处理 5 重复，每重复处理 20～30 头蛹。

1.3 桔小实蝇越冬成虫耐寒性实验

于 2005 年 11 月下旬在室外实验种群中收集 3 种日龄的成虫，分别是日龄混合的成虫、6～10 天成虫、30～35 天成虫。每种日龄 30 对雌雄成虫，每个处理 3 个重复，饲养方法同上，每天供给南瓜片让其取食并产卵，观察成虫寿命和有无产卵现象，直至 2006 年 4 月 1 日。

1.4 桔小实蝇不同地理种群蛹的耐寒能力研究

在 2005 年 7 月和 9 月期间从 5 个地理区域采集桔小实蝇自然种群，采集地点分别为：元江（东经 101.39°，北纬 23.19°，云南省）、海口（东经 110.35°，北纬 20.02°，海南省）、广州（东经 113.23°，北纬 23.16°，广东省）、福州（东经 119.3°，北纬 26.08°，福建省）和南宁（东经 108.20°，北纬 22.48°，广西省）。从各地采集大量落果，带回实验室饲养，收集 1 日龄蛹进行耐寒性测定。测定内容和方法同上。

1.5 统计方法

用 SPSS 软件对实验数据进行分析，不同月份 SCP 差异和不同种群之间耐寒性比较使用 one-way ANOVA/Duncan 法。

2 结果与分析

2.1 桔小实蝇自然种群蛹的过冷却点季节性变化

2005 年 4 月－2006 年 3 月连续对 1 日龄蛹过冷却点的测定结果表明：自然情况下桔小实蝇蛹的过冷却点表现为季节性变化规律（$F = 25.37$，$df = 9, 295$，$P < 0.01$）（图 1）。其中 2 月份过冷却点均值最高，为 －9.26℃，而 8 月份过冷却点均值最低，为 －15.20℃；4－7 月过冷却点偏高，8－11 月过冷却点较 4－7 月低，这两个阶段之间过冷却点均值达到显著性差异。与其他昆虫相比（孙绪艮等，2000；景晓红，2003），实验中桔小实蝇自然种群 1 日龄蛹每月的过冷却能力没有表现出随着环境温度降低而显著增强的趋势，尤其是 2 月份蛹的过冷却点均值达全年最高，因而将数据结果作进一步分析见图 2。

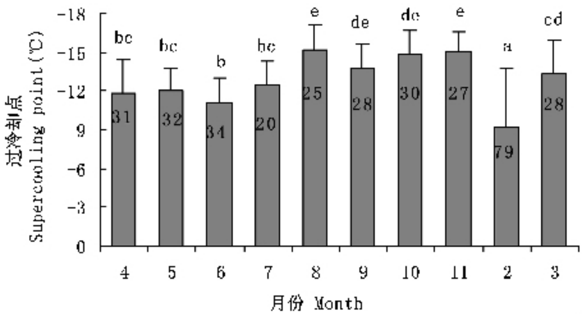

图 1 2005－2006 年桔小实蝇自然种群蛹的过冷却点季节性变化

Fig. 1 Seasonal variation of SCPs for natural population of *Bactrocera dorsalis* pupae in 2005－2006

各月份 SCP 间差异用 One-Way Anova/Duncan 分析，柱上带有相同字母的表示在 0.05 水平上差异不显著。柱内的数字代表所测的个体数。图 5 同。Differences of mean SCPs（± *SE*）among different months were analyzed by One-Way Anova/Duncan, and those with the same letters above column are not significantly different at the 0.05 level. The number inside column indicates the number of tested individuals. The same for Fig. 5.

将各月桔小实蝇蛹的过冷却点值进行频次分布分析（图 2）。从频次分布图中曲线中心轴可看出，桔小实蝇蛹过冷却点从 2005 年 4 月开始逐渐降低，至 8 月达到最低，持续一段时间后到 2006 年 2 月曲线中心过冷却点升到最高，但过冷却点值分散幅度很大，即向高低两个方向分散，在 －15℃左右和 －6℃左右出现两个明显聚集区；3 月份过冷却点值频次分布范围仍然较宽，但表现为单聚集型，平均值在 －14℃左右，较 2 月份明显降低。实验结果可以说明环境中温度、湿度等因子的变化对桔小实蝇自然种群蛹的过冷却能力产生明显影响，且在经过一段时间广州地区冬季低温后，蛹的过冷却点出现明显分化现象，个体间过冷却点变异很大，形成高低两个明显的聚集值。

2.2 越冬期间桔小实蝇自然种群成虫的过冷却点变化

进一步对冬季桔小实蝇自然种群成虫的过冷却点进行测定，结果表明 2005 年 12 月至 2006 年 2 月成虫过冷却点均值也出现了明显减弱的趋势（$F = 23.725$，$df = 2, 172$，$P < 0.01$），12 月过冷却点值为 －10.37℃，1 月和 2 月依次上升至 －7.25℃ 和 －8.16℃。与蛹不同的是，1、2 月份成虫过冷却点没有出现明显的高低分化现象，雌雄成虫之间也没有显著差异（$t = -0.362$，$P = 0.718$）（表 1）。

2.3 桔小实蝇自然种群蛹耐寒性的季节差异

在不同暴露温度和时间下广州地区桔小实蝇自然种群蛹的存活情况见图 3。5℃时，桔小实蝇蛹耐

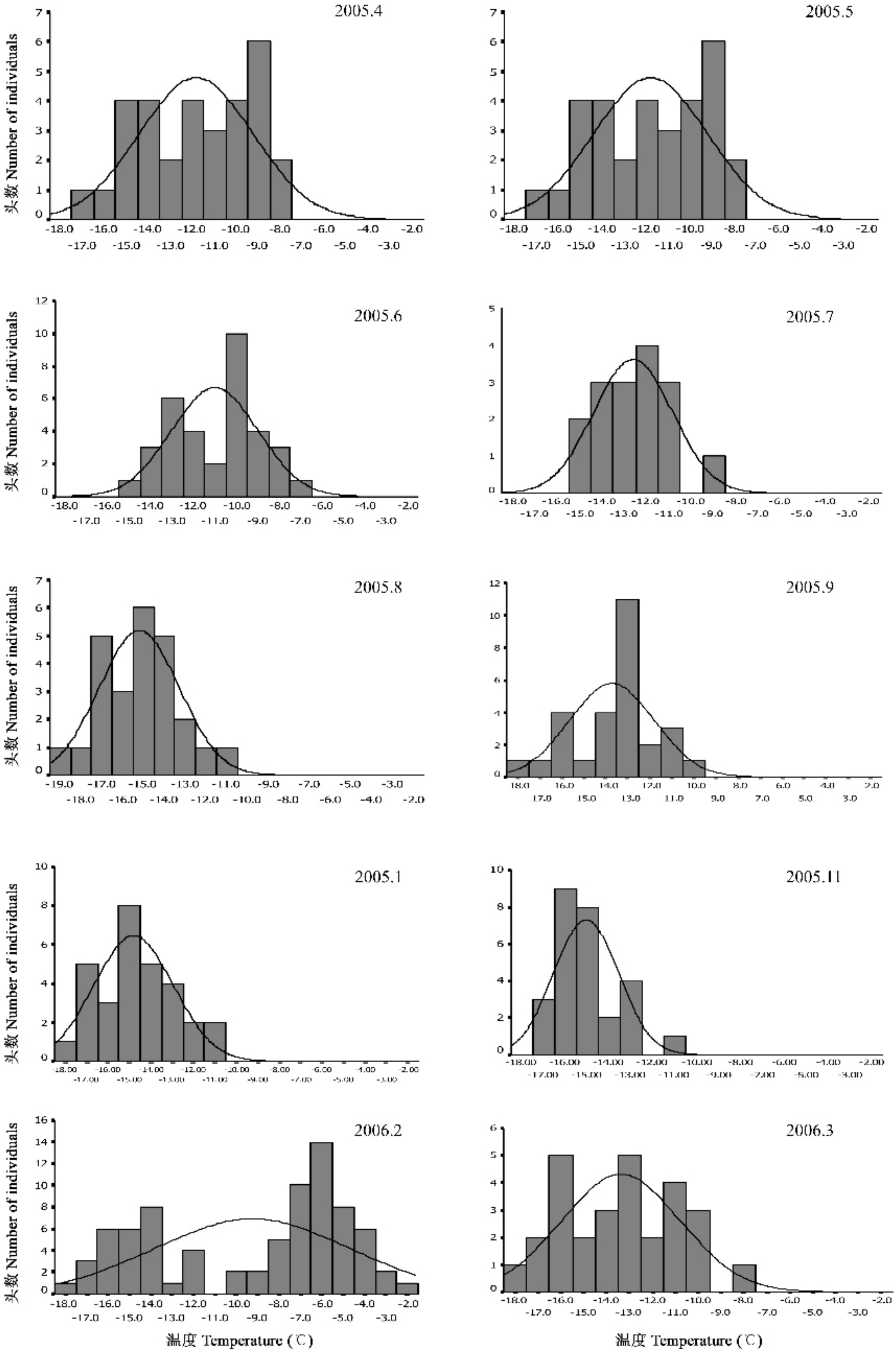

图2 各月份桔小实蝇蛹过冷却点的频次分布

Fig. 2 Frequency distribution of SCPs of *Bactrocera dorsalis* pupae in various months

寒性存在明显的季节差异（$F = 3.45$，$df = 2, 61$，$P = 0.038 < 0.05$），其中，暴露 2 天时桔小实蝇蛹的校正死亡率从高到低依次是夏季、春季和冬前，分别为 77.89%、47.92% 和 20.11%。与冬前种群相比，桔小实蝇夏季种群蛹在不同低温暴露下显示出不一样的适应性。5℃和 0℃时夏季种群蛹耐寒性明显低于冬前（5℃：$t = 2.229$，$P = 0.031 < 0.05$；0℃：$t = 6.253$，$P = 0.000 < 0.01$），而在 10℃暴露 2 天后两个季节种群死亡率均较低，当暴露时间达 3 天以上时，夏季种群死亡率明显较高；而在 -5℃低温暴露下，两季节种群短时间暴露如 0.5 h 时，死亡率均达到 70%左右，随着暴露时间的增长，夏季种群死亡率明显较高，至 2 h 时死亡率高达 100%，而冬前种群在持续暴露 4 h 后才全部死亡。以上研究结果表明相对较高的低温如 10℃对桔小实蝇种群蛹的影响相对较小，同时零下的低温如 -5℃胁迫对该虫的打击是致命的；因而这两端的温度胁迫对于桔小实蝇种群来说，没有显现出耐寒性的明显季节差异，但随着低温持续时间的延长，差异也逐渐显著。总之，桔小实蝇夏季种群蛹较冬前种群忍耐低温时间短，强度弱。

表 1　桔小实蝇成虫越冬期间过冷却点比较

Table 1　Comparison of SCPs of *Bactrocera dorsalis* adults during over-wintering

月份 Month	样本数 Number of individuals	过冷却点值 SCPs (℃) 平均值 Mean ± *SE*	最高值 Maximum	最低值 Minimum
12 December	57	-10.37 ± 0.43 b	-4.00	-16.70
1 January	58	-7.25 ± 0.26 a	-4.30	-13.50
2 February	60	-8.16 ± 0.27 a	-4.30	-13.40
总体 Total	175	-8.58 ± 0.21	-4.00	-16.70

注 Notes：SCP 均值用 One-Way ANOVA/ Duncan 分析，带有相同字母的表示在 0.05 水平上差异不显著；下表同。Means of SCP ± *SE* were analyzed by One-Way ANOVA/ Duncan, and those followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level. The same for the following tables.

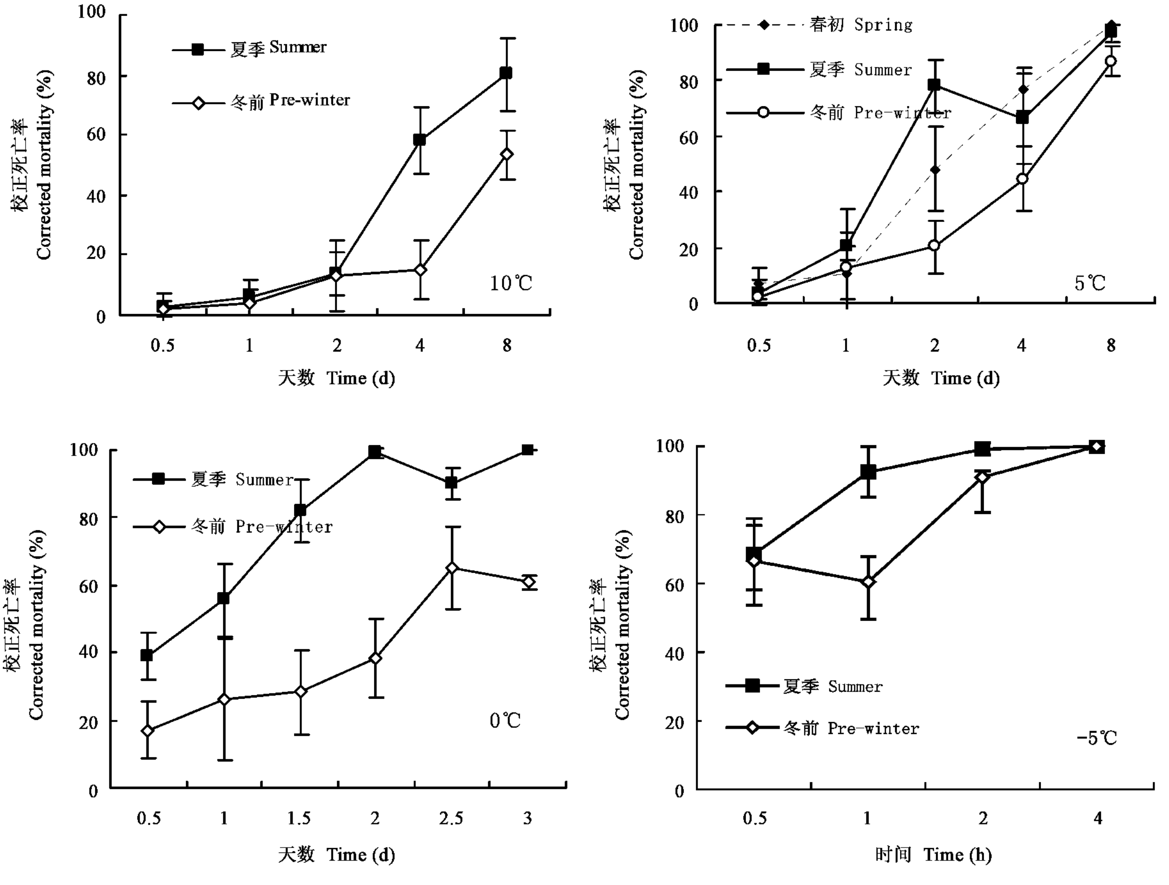

图 3　桔小实蝇自然种群蛹耐寒性的季节差异

Fig. 3　Seasonal variation of cold hardiness of pupae from natural populations of *Bactrocera dorsalis*

2.4　冷驯化对不同季节桔小实蝇自然种群蛹低温耐受力的影响

广州地区桔小实蝇夏季和冬前种群蛹在10℃低温下不同时间预冷后耐寒性均有一定程度的增强（夏季：$F_{3,15} = 1.679$，$P = 0.214$；冬前：$F_{3,16} = 2.054$，$P = 0.147$；图4）。与直接置于0℃下处理1天相比，预冷1天后夏季种群耐寒性显著提高（$t = 4.292$，$P = 0.004$），冬季种群在驯化0.5天和1天后也显著增强了本身的低温存活能力（0.5天：$t = 8.151$，$P = 0.01$；1天：$t = 3.541$，$P = 0.024$），0℃处理1天后的存活率分别达到89%和87%，显著高于未经驯化的蛹（73.76%），且均显著高于夏季种群（包括未驯化和驯化后），这说明冬前桔小实蝇自然种群已具备较强的耐寒性。另外，随着10℃条件下驯化时间延长，驯化效果反而降低，这可能与持续的低温预冷导致的死亡率上升有关。

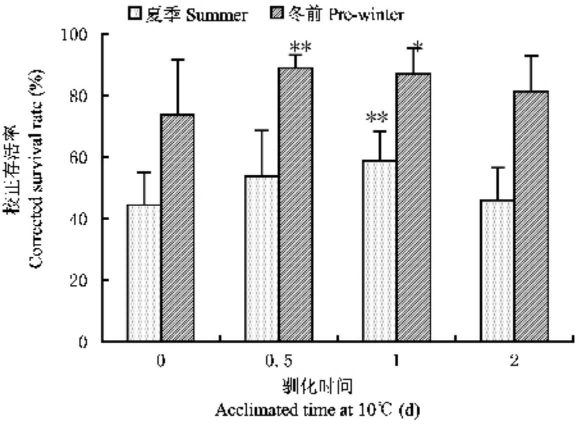

图4　10℃冷驯化对夏季和冬前桔小实蝇蛹低温存活力的影响

Fig. 4　Influence of 10℃ acclimation on cold survival of *Bactrocera dorsalis* pupae in summer and pre-winter

样本收集于广州室外自然种群，夏季和冬前种群的存活率预处理与未处理之间的比较分别用 t 检测；*，**分别表示在0.05，0.01水平上差异显著。

Samples were collected from out-of-door population in Guangzhou, survival rates between the treated and untreated of summer and pre-winter population were analyzed by t test, respectively, and *, and ** indicate significant difference at the 0.05 and 0.01 level, respetively.

2.5　桔小实蝇越冬成虫的存活情况

2005年11月25日起至2006年4月1日对桔小实蝇自然种群成虫的寿命进行了跟踪观察，结果表明广州地区桔小实蝇成虫能够安全越冬，但不同发育阶段的成虫在冬季的存活率有明显差异（$F = 13.966$，$df = 2, 15$，$P < 0.01$；图5），雌雄成虫之间差别不显著。冬季桔小实蝇成虫不同日龄对其存活率影响有差别，整个观察阶段存活率以30～35日龄成虫的存活率最高，为56.59%；6～10日龄的次之，为34.27%；混合日龄的最低，为24.24%。不同日龄越冬成虫的寿命也存在显著差异，其中30～35日龄雌雄成虫的平均寿命分别为97.34天和102.76天，都较6～10日龄成虫的平均寿命长（表2）。推断不同年龄的桔小实蝇成虫越冬能力出现差别可能是成虫的不同发育阶段对低温的适应性不同所导致的。

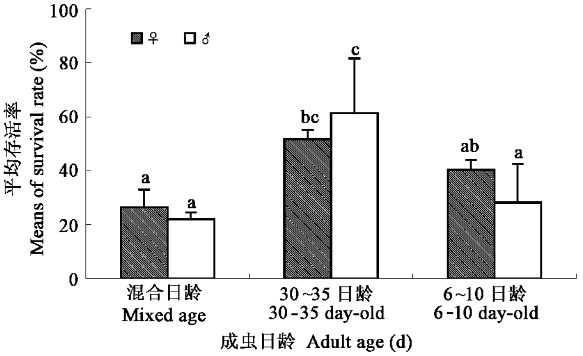

图5　桔小实蝇成虫的越冬存活率

Fig. 5　Survival rate duing over-wintering for *Bactrocera dorsalis* adults

表2　桔小实蝇成虫的越冬平均寿命

Table 2　Mean longevity during over-wintering for *Bactrocera dorsalis* adults

成虫 Adult	雌虫♀ Female (d)	雄虫♂ Male (d)	成虫 Female and male (d)
30～35日龄 30－35 day-old	97.34 ± 4.97 a	102.76 ± 11.33 a	100.05 ± 8.37 a
6～10日龄 6－10 day-old	82.14 ± 6.71 b	72.12 ± 11.09 b	77.13 ± 9.86 b

2.6　桔小实蝇地理种群蛹的过冷却点和低温耐受力比较

在2005年7月和9月期间采集了桔小实蝇在我国普遍发生区域的5个地理自然种群，研究了桔小实蝇地理种群1日龄蛹的过冷却点和耐低温能力。从过冷却点测试结果看，桔小实蝇蛹的过冷却能力并没有随着纬度的升高而有显著增强的趋势。福州地理种群蛹的过冷却点均值最高，为－9.47℃，明显高于其他4个地理种群。海口、南宁、广州和元江4个地理种群的过冷却点均值之间均没有形成明显差异，在－13℃～－14℃左右（表3）。同样，4个低温（10℃、5℃、0℃和－5℃）处理下地理种群之间的低温存活率也没有达到显著差异（$F = 0.912$，$P = 0.460$，图6）。可见在收集的5个桔小实蝇地理区域种群之间还没有形成明显的耐寒性地理差异。

3　结论与讨论

用昆虫实验种群耐寒性来衡量其低温忍耐能力

表 3 夏季桔小实蝇自然种群蛹过冷却点的地理差异

Table 3 Geographical variation in SCPs of *Bactrocera dorsalis* pupae in summer

采样点/采集时间(月·日) Sampling sites/collecting date (Month. day)	**纬度** Latitude	**寄主** Hosts	**样本数** Number of individuals	**过冷却点值** SCPs (℃)		
				均值 Mean ± *SE*	**最低值** Minimum	**最高值** Maximum
海口 Haikou/7.6	20.02°	**杨桃/番石榴** Guava/Start fruit	28	− 13.79 ± 0.43 a	− 19.10	− 9.00
南宁 Nanning/7.23	22.48°	**杨桃/番石榴** Guava/Start fruit	32	− 14.00 ± 0.30 a	− 17.30	− 10.10
广州 Guangzhou/7.26	23.16°	**番石榴** Guava	41	− 14.19 ± 0.35 a	− 18.70	− 9.50
元江 Yuanjiang/9.15	23.19°	**杨桃** Start fruit	35	− 13.26 ± 0.34 a	− 16.40	− 6.20
福州 Fuzhou/7.27	26.08°	**芒果** Mango	42	− 9.47 ± 0.22 b	− 12.20	− 6.00

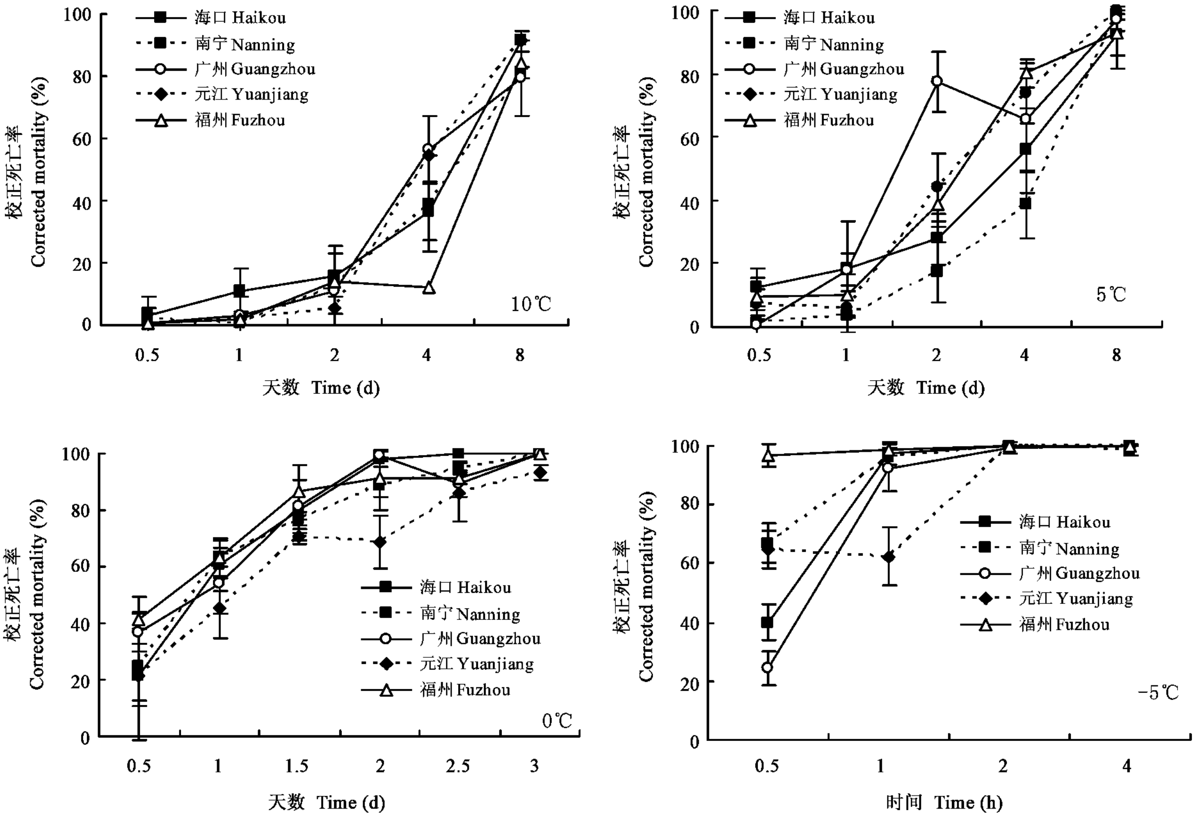

图 6 桔小实蝇自然种群耐寒性的地理差异

Fig. 6 Geographical variation of cold hardiness of *Bactrocera dorsalis* natural populations

显然是不足的,因为实验种群经历的是稳定的温湿度环境。事实上,越冬种群的死亡率远比实验种群的要少,因为自然种群的各虫态经历的是波动的环境变化,并在越冬前感受到短日照和日益降低的温度变化,从而在体内生理生化方面已做好抵御低温的调节和适应。本研究中我们选用桔小实蝇的广州地区室外实验种群和 5 个地理种群,用 1 日龄蛹来衡量其耐寒性的变化。在 5 个地理种群中,桔小实蝇的耐寒性没有形成显著的地理差异分化,这可能与所采集的地理种群纬度分化不大和采集的季节有关,因为在夏季昆虫体内还没有做好御寒的准备,这可能导致它们不能形成明显的耐寒性地理差异。如能在越冬前和越冬期间收集到大量越冬虫态的地理种群来研究应更接近事实的真相,但实际实验中在冬季大量收集象桔小实蝇这类果实蝇类害虫的越冬蛹或成虫在方法和手段上还有待进一步探讨和完善,但同样在夏季(7 − 9 月)采样,美洲斑潜蝇 *L. sativae* **的 8 个地理种群之间存在显著的地理耐寒性**

分化(Chen and Kang,2004)。值得一提的是,在采集被桔小实蝇危害的落果过程中,我们尽量的在不同地区均收集同一种寄主水果,但因实验中所需虫量很大,所以收集的寄主水果在不同区域有些差别或在同一区域有寄主混合现象,但都是桔小实蝇嗜食性寄主,如番石榴、杨桃和芒果等(表 3)。在 5 个地理种群中,只有在福州采集的是芒果,而该地理种群蛹的过冷却点在 5 个种群中最高,是否由于寄主植物的因素影响甚至掩盖了桔小实蝇地理种群过冷却能力差异的事实还有待进一步分析,但任璐等(2006)报道的寄主因素对桔小实蝇耐寒性影响的研究表明,桔小实蝇实验种群中芒果饲养所得 1 日龄蛹的过冷却点均值(－12.03℃)与番石榴(－12.06℃)和杨桃(－12.73℃)的没有显著区别。但正如前面所讲,自然种群较实验种群有更多可预知和不可预知的环境因素影响,因而对桔小实蝇种群耐寒性影响因素的深入探讨和分析是下一步研究工作的重点。

广州地区桔小实蝇室外实验种群(春后、夏季和冬前)的耐寒性表现出显著的适应性分化。冬前种群的耐寒性显著强于夏季种群。2005－2006 年逐月的过冷却点也有明显差别,但随着气温的下降,桔小实蝇蛹的过冷却点均值却有上升的趋势,且在广州全年最冷的 2 月,出现过冷却点高低值分化明显的现象:在所测的 72 个蛹体中,过冷却点最高的－2℃,而最低的达－17.8℃,相差近 16℃,个体过冷却点值出现两个聚集区,分别集中在－15℃和－6℃左右。这样的分化出现在一年中最冷的月份是很特殊的,其他一些昆虫在春后或冬前出现过冷却点的高低值分化现象是可以理解为其对高温和低温来临的一种适应分化,也有在地理种群中随着纬度的变化出现 SCP 值过渡分化的现象(Renault *et al*.,2004;Chen and Kang,2004,2005)。实验中也对 2005 年 12 月桔小实蝇自然种群蛹进行了过冷却点值的测定,但只收集并测出 12 个蛹个体的 SCP 值,均值为－5.83℃,最高和最低值分别为－2.4℃和－8.6℃,同时桔小实蝇成虫的过冷却点均值在 1 月份和 2 月份的都显著高于 12 月份的,这都在其他昆虫中还未见报道。实验中桔小实蝇种群过冷却能力出现这样的现象应与虫体内生理环境和对外界环境因素适应等多方面有关,深入的探讨和证实需要更多重复和长期的研究。

参考文献(References)

Bai Q,Song FM,1997. Report for *Bactrocera dorsalis* damaged mango and control ling research condition. *Tropic Agricultural Science*,4:45－46.[白巧,宋福猛,1997. 桔小实蝇为害芒果情况及防治研究初报. 热带农业科学,4:45－46]

Chen B,Kang L,2003. Supercooling point shift of pea leafminer pupae with latitude and its implication for the population dispersion. *Zoological Research*,24(3):168－172.[陈兵,康乐,2003. 南美斑潜蝇地理种群蛹过冷却点随纬度递变及其对种群扩散的意义. 动物学研究,24(3):168－172]

Chen B,Kang L,2005. Adaptation and population distribution of insect under the environmental thermal stress. *Progress in Natural Science*,3:265－270.[陈兵,康乐,2005. 昆虫对环境温度胁迫的适应与种群分化. 自然科学进展,3:265－270]

Chen B,Kang L,2004. Variation in cold hardiness of *Liriomyza huidobrensis* (Dipera: Agxomyzidae) along latitudinal gradients. *Environmental Entomology*,33:155－164.

Chen B,Kang L,2005. Can greenhouses eliminate the development of cold resistance of the leafminers? *Oecologia*,144(2):187－195.

Fan JA,1998. Studies on the assessment of potential establishment of oriental fruit (*Bactrocera dorsalis*) in China with synthetic judgment on fuzzy mathematics. *Plant Quarantine*,12(2):76－80.[范京安,1998. 用模糊综合评判法探讨桔小实蝇在中国的适生分布. 植物检疫,12(2):76－80]

Hou BH,Zhang RJ,2005. Potential distributions of the fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Diptera:Tephritidae) in China as predicted by CLIMEX. *Acta Ecologica Sinica*,25(7):1 570－1 574.[侯柏华,张润杰,2005. 基于 CLIMEX 的桔小实蝇在中国适生区的预测. 生态学报,25(7):1 570－1 574]

Lee RE Jr,Denlinger DL,1991. Insects at Low Temperature. Chapman and Hall,New York.

Li HX,Ye H,Lu J,2000. On damages and distributions of fruit fly (*Bactrocera dorsalis* Hendel) in Yunnan province,southern China. *Journal of Yunnan University* (*Natural Science*),22(6):473－478.[李红旭,叶辉,吕军,2000. 桔小实蝇在云南的危害与分布. 云南大学学报(自然科学版),22(6):473－478]

Liang GQ,Liang GZ,Lin M,1993. Fruit Flies and Their Control. Guangdong:Guangdong Science & Technology Press.[梁广勤,梁国真,林明,1993. 实蝇及其防除. 广东:广东科技出版社]

Liang GH,Chen JH,Yang JQ,Huang JC,Ji QE,2003. Advances in research of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in China. *Entomological Journal of East China*,12(2):90－98.[梁光红,陈家骅,杨建全,黄居昌,季清娥,2003. 桔小实蝇国内研究概况. 华东昆虫学报,12(2):90－98]

Liu JH,Ye H,2005. Population dynamics of *Bactrocera dorsalis* (Diptera:Tephritidae) in Yuanjiang dry-hot valley,Yunnan with an analysis of the related factors. *Acta Entomol. Sin.*,48(5):706－711.[刘建宏,叶辉,2005. 云南元江干热河谷桔小实蝇种群动态及其影响因子分析. 昆虫学报,48(5):706－711]

Liu YM,2000. Plant Quarantine Handbook. Hubei:Hubei Science and Technology Press. 231－232.[刘元明,2000. 植物检疫手册. 湖北:湖北科学技术出版社. 231－232]

Jing XH,Kang L,2003. Geographical variation in egg cold hardiness:a study on the adaptation strategies of the migratory locust *Locusta*

migratoria L. *Ecological Entomology*，28：151 – 158.

Jing XH，2003. The Cold Hardiness of the Migratory Locust *Locusta migratoria* L.（Orthoptera：Acrididae）. PhD Dissertation，Institute of Zoology，Chinese Academy of Sciences，Beijing.［景晓红，2003. 飞蝗（*Locusta migratoria* L.）卵的耐寒性研究. 中国科学院动物研究所博士论文］

Ren L，Lu YY，Zeng L，Pang ST，2006. Effect of different host fruits on the cold hardiness of *Bactrocera dorsalis*（Hendel）（Diptera：Tephritidae）. *Acta Entomol. Sin.*，49(3)：447 – 453.［任璐，陆永跃，曾玲，庞淑婷，2006. 寄主对桔小实蝇耐寒性的影响. 昆虫学报，49(3)：447 – 453］

Renault D，Vernon P，Vannier G，2004. Comparing the freezing susceptibility of third-instar larvae of *Gnorimus variabilis*（Cetoniidae：Trichiinae）from three distant geographical regions. *Canadian Journal of Zoology*，82：873 – 879.

Shintani Y，Ishikawa Y，1999. Geographic variation in cold hardiness of eggs and neonate larvae of the yellow-spotted longicorn beetle *Psacothea hilaris*. *Physiol. Entomol.*，24：158 – 164.

Sun XG，Guo HL，Li ST，Wang XH，2000. Study on cold hardiness of overwintering larvae，*Phthonandria atrilineata* Butler. *Acta Sericologica Sinica*，26(3)：129 – 133.［孙绪良，郭慧玲，李恕廷，王兴华，2000. 桑尺蠖越冬幼虫的耐寒性研究. 蚕业科学，26(3)：129 – 133］

Tanaka K，1999. Cold tolerance in the house spider，*Achaearanea tepidariorum*（Araneae：Theridiidae）. *Entomol. Sci.*，2：597 – 604.

Turnock WJ，G Boivin，Ring RA，1998. Interpopulation differences in the coldhardiness of *Della radicum*（Diptera：Anthomyiidae）. *Can. Entomol.*，130：119 – 129.

Yang YS，2003. Harm characters and control tests of *Bactrocera dorsalis* in Yuanjiang. *China Forest Disease and Pests*，22(1)：20 – 21.［杨永生，2003. 元江县桔小实蝇为害特点及防治试验. 中国森林病虫，22(1)：20 – 21］

Yang PJ，James R，Robert VD，1994. Tepheritid fruit flies in China historical background and current status. *Pan-Pacific Entomologist*，70(2)：159 – 167.

Zhou CQ，Chen HD，Lin PQ，1995. Comparison of influence of light，temperature and humidity on reproduction of three fruit flies population. *Journal of Zhongshan University*（*Natural Science*），34(1)：68-75.［周昌清，陈海东，林佩卿，1995. 光温湿因子对三种果实蝇种群生殖力影响的比较研究. 中山大学学报（自然科学版），34(1)：68 – 75］

Zhang W，Lu ZS，Zhong W，Zhang P，Xu SF，Bai WS，Gong ZQ，Zhang RH，Zhao CJ，1996. Study on occurring regulation and control of *Bactrocera dorsalis*. *South China Fruit Tree*，25(2)：23.［张伟，禄祖盛，钟伟，张萍，徐素芳，白文深，龚兆拳，张荣华，赵长久，1996. 柑桔小实蝇发生规律及防治研究简报. 中国南方果树，25(2)：23］

（责任编辑：袁德成）